

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-295936

(43) 公開日 平成8年(1996)11月12日

| (51) Int.Cl. <sup>9</sup> | 識別記号  | 庁内整理番号 | F I           | 技術表示箇所  |
|---------------------------|-------|--------|---------------|---------|
| C 2 1 D 8/12              |       |        | C 2 1 D 8/12  | A       |
| C 2 2 C 38/00             | 3 0 3 |        | C 2 2 C 38/00 | 3 0 3 U |
| 38/48                     |       |        | 38/48         |         |
| H 0 1 F 1/16              |       |        | H 0 1 F 1/16  | A       |

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平7-98902

(22) 出願日 平成7年(1995)4月24日

(71) 出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72) 発明者 島津 高英

兵庫県姫路市広畑区富士町1番地 新日本  
製鐵株式会社広畑製鐵所内

(72) 発明者 棟田 孝司

兵庫県姫路市広畑区富士町1番地 新日本  
製鐵株式会社広畑製鐵所内

(74) 代理人 弁理士 田村 弘明 (外1名)

(54) 【発明の名称】 表面性状と磁気特性の優れた無方向性電磁鋼板の製造方法

(57) 【要約】

【目的】 表面性状と磁気特性が優れた無方向性電磁鋼板を、鉄資源のリサイクルを基本としたプロセスで製造する。

【構成】 重量%で、C<0.005%、Si:2.0~4.0%、Al:0.05~2%、Mn:0.05~1.5%、P≤0.1%、S≤0.003%、N<0.004%、Sn:0.003~0.2%、Cu:0.015~0.2%、Ni:0.01~0.2%、Cr:0.02~0.2%、V:0.0005~0.008%、Nb<0.01%とし、残部不可避免的成分を含有する熱延鋼板に、熱延板焼鈍を実施して結晶粒径を50μm以上とし、且つ、冷却速度を80℃/秒以下の徐冷とし、次いで、88%以上の圧下率の冷延を実施し、800~1200℃で再結晶焼鈍することを特徴とする表面性状と磁気特性の優れた無方向性電磁鋼板の製造方法。

BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

C < 0.005%、  
 Al : 0.05~2%、  
 P ≤ 0.1%、  
 N < 0.004%、  
 Cu : 0.015~0.2%、  
 Cr : 0.02~0.2%、  
 Nb < 0.01%とし、

## \* \* 【請求項1】 重量%で、

Si : 2.0~4.0%、  
 Mn : 0.05~1.5%、  
 S ≤ 0.003%、  
 Sn : 0.003~0.2%、  
 Ni : 0.01~0.2%、  
 V : 0.0005~0.008%、

残部不可避免的成分を含有する熱延鋼板に、熱延板焼鈍を実施して結晶粒径を50μm以上とし、且つ、冷却速度を80℃/秒以下の徐冷とし、次いで、88%以上の圧下率の冷延を実施し、800~1200℃で再結晶焼鈍することを特徴とする表面性状と磁気特性の優れた無方向性電磁鋼板の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、高級グレードの無方向性電磁鋼板の製造に関する。即ち、電気産業分野でのモータや小型トランスのコアに使用される、表面性状と磁気特性に優れた高級無方向性電磁鋼板の製造方法に係り、また、得られた電磁鋼板は電気自動車用駆動モータなどの高周波用途としても有効である。

## 【0002】

【従来の技術】近年、地球環境の観点から、スクラップのリサイクルが大きな課題となってきた。このため、製鉄業でいえば、鉄鉱石を高炉で還元した溶銑を製鋼原料として使用する方法から自動車や空き缶などのスクラップを多量消費する製鋼法に大きく転換する動きが始まっている。

【0003】従来、無方向性電磁鋼板の分野では鉄損の低減あるいは磁束密度を改善する目的で、基本的には不純物、即ち、S、N、O、Sn、Cu、Ni、Tiなどを極力、少なくして、鋼を高純度化させるべく努力が払われてきた。しかしながら、今後、市場の鉄スクラップを多量に消費しようとする場合、不純物の混入はある程度避けられないのが実状である。特に、安価なスクラップを利用しようすると、例えば、電機製品からCu、食缶からSn、ステンレス鋼板からNi、Crなどが混入する。即ち、これら不純物を、機能商品としての無方向性電磁鋼板に対して有効利用する方策を考案しなければならぬ時代に入っている。従来、このリサイクルの観点からの研究は殆ど見られなかった。

【0004】例えば、特公昭58-3027号公報ではSn : 0.03~0.40%添加により、鉄損が向上することを見出しているが、Snは高価なこと、また、Sn単独添加では表面性状に問題があった。特公平6-6779号公報では、Sn : 0.02~0.20%、C ※

C < 0.005%、  
 Al : 0.05~2%、  
 P ≤ 0.1%、

※u : 0.1~1.0%の複合含有により、磁束密度と鉄損両者の向上が得られた。しかし、Sn、Cu両者の含有は表面性状が大きく劣化するという問題があった。

【0005】特公昭40-16653号公報ではAs ≤ 0.3%、Sn ≤ 0.1%、As + P + Ni + Co + Cu + Mo ≥ 0.2%、Al + Si + Cr ≤ 0.1%で複合含有させることで、磁束密度の改善と打抜、切削性を良好にした技術を開示している。しかしながら、As、Co、Moなどの特殊元素がコストアップになること、Si量が少なすぎ磁気特性が不満であった。

【0006】特公平4-71989号公報では、Mn ≥ 1.0%をベースに、Ni、Cr、Sb、Sn、Bなどを添加することにより、優れた磁気特性を得ている。しかしながら、高MnではMnの添加コストが大きすぎる問題点があった。特開平3-20413号公報には、Vの影響が開示されているが、高Si系の高級鋼板を対象にしていない。

【0007】一方、無方向性電磁鋼板の磁氣的性質に望ましい{100}集合組織を発達させる手段として、特公昭51-942号公報に85%以上の強冷延を施すことが開示されているが、熱延板焼鈍を実施しない工程であるため、得られる磁気特性に不満があった。また、特開平38-294422号公報では、高温での熱延板焼鈍と強冷延の効果で優れた磁気特性を得ている。しかしながら、高温での熱延板焼鈍処理後の鋼板は、脆化しており、続く酸洗工程や冷延工程で鋼板の破断トラブルが頻発する問題があった。強冷延では特に、この冷延での脆性が問題となり、また、不純物が多い本発明の成分系では脆化の傾向が強い。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記の点に鑑み、安価鉄スクラップを多量消費する道を切り開き、且つ、製品の表面性状の問題と脆性問題を解消しつつ、優れた磁束密度と鉄損を有する高級グレードの無方向性電磁鋼板の製造方法を提供することを目的とする。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明は重量%で、

Si : 2.0~4.0%、  
 Mn : 0.05~1.5%、  
 S ≤ 0.003%、

N : 0.004%、 Sn : 0.003~0.2%、  
 Cu : 0.015~0.2%、 Ni : 0.01~0.2%、  
 Cr : 0.02~0.2%、 V : 0.0005~0.008%、  
 Nb < 0.01%とし、

残部不可避免的成分を含有する熱延鋼板に、熱延板焼鈍を実施して結晶粒径を $50\mu\text{m}$ 以上とし、且つ、冷却速度を $80^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以下の徐冷とし、次いで、88%以上の圧下率の冷延を実施し、 $800\sim 1200^\circ\text{C}$ で再結晶焼鈍することを特徴とする表面性状と磁気特性の優れた無方向性電磁鋼板の製造方法である。

【0010】本発明のポイントは、3点ある。まず第1に、Cu、Sn含有による表面疵の悪化をNi、Crの複合含有により改善すること、第2に、このCu、Sn、Ni、Crの4種複合含有に伴う磁気特性の劣化を、VとNb量規制を実行することにより、磁気特性を向上させることである。第3に熱延板焼鈍後の冷却速度、結晶粒径と冷延率を制御することによって、生産トラブルがなく、併せて、優れた磁気特性を有する無方向性電磁鋼板を得ることである。本発明は、これらの技術を総合することによって始めて、スクラップ多量使用の方策を開拓し、更に、表面性状、脆性と磁気特性を改善したものである。

【0011】以下、本発明を詳細に説明する。C量を0.005%未満と限定したのは、これ以上のC量では磁気時効に問題があるためである。Si量を2.0~4.0%に限定する。Si量が2.0%未満では、鉄損が不満であり、4.0%超では鋼板の脆性問題が生じるので避けなければならない。

【0012】Al量を0.05~2%に制限する。Al量が0.05%未満では、鉄損が不満であり、2%超では添加コストの問題があるので避ける。Mn量を0.05~1.5%とする。Mnは熱延での赤熱脆性を防止して熱延板の耳荒れを改善するのに有効で、0.05%以上必要である。また、多すぎるとコストアップの問題があるので、1.5%以下とする。

【0013】Pは0.1%以下とする。Pは結晶粒成長を阻害して、熱延板の結晶粒径を小さくして、磁気特性を劣化させるので、0.1%以下に制限する。S量を0.003%以下とする。S量が0.003%を超えると、MnSの析出物が増え、熱延板の結晶粒径が小さくなるので避けなければならない。

【0014】N量は0.004%未満に制限する。0.004%以上では、プリスターと称されるフクレ状の表面欠陥が生じるためである。Sn量を0.003~0.2%に限定したのは、本発明のスクラップ利用の観点からSn量を0.003%以上とすること、また、0.2%超ではスクラップ以外のSn原料を添加する必要があるためである。

【0015】Cu量を0.015~0.2%に限定したのは、本発明のスクラップ利用の観点からCu量の下限

を0.015%以上とする。また、0.2%超ではスクラップ以外のCu原料を添加する必要がありコストアップになるため0.2%を上限とする。

【0016】Ni量を0.01~0.2%に限定する。上記の $\text{Mn} \leq 1.5\%$ でのSn、Cu複合含有の電磁鋼板の場合、スラブ表面割れ、熱延耳荒れによる飛び込み疵、熱延スケール噛み込み状へげ疵などの表面欠陥が増加する。Niはこれらの表面性状を改善するのに、後述のCrと相まって極めて有効である。Ni量が0.01%以上で疵防止に効き、0.2%超では添加コストの問題があるため、0.01~0.2%とする。

【0017】Cr量を0.02~0.2%に限定する。Crは、Niとの交互作用で、これらの表面性状を改善するのに非常に有効であり、0.02%以上で疵防止に効き、0.2%超では添加コストの問題があるため、0.02~0.2%とする。

【0018】V量は0.0005~0.008%に限定する。従来、Sn、Cu、Ni、Crを含む成分系では、磁気特性が著しく劣化する。しかし、V量が0.0005%以上では、この磁気特性劣化が見られない。また、V量が0.008%を超えると、特に(Mn、Cu)、Sが微細析出して結晶粒成長を阻害して、鉄損が劣化する。このため、V量を0.0005~0.0085%に規制する。Nb量は0.01%未満に制限する。Nbを含むと、特にSn、Cu、Ni、Crを含有する成分系で、磁気特性が劣化する。この限界は0.01%である。

【0019】製鋼の段階では、食缶、モータ、旋盤屑、自動車のプレス屑など所謂、市中の安価スクラップを鉄原料として用いることができる。但し、VとNb量には、特に注意する必要がある。即ち、一部の特殊鋼の鋼材にはVやNbが含まれていることがあるので、スクラップの選別使用または製鋼処理段階での制御が望ましい。また、Sn、Cuを含むスクラップを使用した場合、Ni、Crを含有するスクラップを同時使用することも、前述の如く必要である。

【0020】熱延のスラブ加熱は特に制限しないが、微細析出物を防止する目的で低温が良く、 $950\sim 1200^\circ\text{C}$ が好ましく、次いで、通常の熱間圧延を行う。

【0021】熱延板焼鈍は長時間のバッチ焼鈍、短時間の連続焼鈍のいずれも可能である。焼鈍後の結晶粒径が重要で、 $50\mu\text{m}$ 以上とする。 $50\mu\text{m}$ 以上の結晶粒径を有する熱延板に後述の88%以上の強冷間圧延で{100}集合組織が富化される。また、熱延板焼鈍での冷却速度は鋼板の脆化を防止する上で、 $80^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以下の徐冷が必要である。この冷速は均熱温度から $100^\circ\text{C}$ ま

での平均冷却速度である。連続焼鈍の場合には、工業的熱処理サイクルの短時間化を目的に100℃/秒程度の急冷がされることが多いので、特にこの徐冷に注意しなければならない。また、Sn, Cu, Ni, Crを含有する本発明の成分系においては、脆化しているので徐冷が重要である。

【0022】熱延板焼鈍の前、もしくは後に酸洗を行い、次いで、冷延を施す。この時、冷延率は88%以上である必要がある。88%未満であれば、目的とする全周方向の磁束密度改善ができない。更に、90%以上の冷延率が磁束密度の向上に好ましい。

【0023】冷延後は、脱脂して、通常の連続焼鈍に供される。焼鈍の温度は、800~1200℃程度で良いが、鉄損を改善するには結晶粒径を150μm前後にするのが好ましい。この焼鈍の後には有機質と無機質の混合した絶縁被膜を塗布、焼付けする。以下、本発明の実施例について説明する。

【0024】

【実施例】

\*

【表1】

| 実験No. | C     | Si  | Mn   | P    | S     | Al   | Sn    | Cu   | Ni    | Cr   | V      | N      | Nb    | 熱延板<br>焼鈍後<br>粒径<br>μm | 表面<br>性状 | B <sub>1000</sub><br>w/kg | B <sub>500</sub><br>T | 鉄損<br>評価 | 備考  |
|-------|-------|-----|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|--------|--------|-------|------------------------|----------|---------------------------|-----------------------|----------|-----|
| wt %  |       |     |      |      |       |      |       |      |       |      |        |        |       |                        |          |                           |                       |          |     |
| ①     | 0.001 | 2.5 | 0.18 | 0.02 | 0.001 | 0.45 | 0.011 | 0.03 | 0.012 | 0.02 | 0.0052 | 0.0015 | 0.002 | 120                    | ○        | 2.9                       | 1.74                  | ○        | 本発明 |
| ②     | 0.001 | 2.3 | 0.19 | 0.01 | 0.001 | 0.46 | 0.028 | 0.03 | 0.008 | 0.02 | 0.0075 | 0.0011 | 0.002 | 115                    | ×        | 2.8                       | 1.73                  | ×        | 比較  |
| ③     | 0.003 | 2.4 | 0.18 | 0.02 | 0.001 | 0.47 | 0.153 | 0.03 | 0.026 | 0.01 | 0.0058 | 0.0005 | 0.002 | 123                    | ×        | 2.9                       | 1.74                  | ×        | 比較  |
| ④     | 0.001 | 2.6 | 0.18 | 0.02 | 0.001 | 0.44 | 0.088 | 0.11 | 0.033 | 0.03 | 0.0057 | 0.0022 | 0.002 | 113                    | ○        | 3.6                       | 1.72                  | ×        | 比較  |
| ⑤     | 0.001 | 2.5 | 0.17 | 0.02 | 0.001 | 0.45 | 0.009 | 0.02 | 0.010 | 0.06 | 0.0013 | 0.0018 | 0.012 | 110                    | ○        | 3.6                       | 1.71                  | ×        | 比較  |
| ⑥     | 0.002 | 2.5 | 0.17 | 0.02 | 0.001 | 0.45 | 0.009 | 0.03 | 0.010 | 0.06 | 0.0003 | 0.0019 | 0.001 | 118                    | ○        | 3.7                       | 1.70                  | ×        | 比較  |
| ⑦     | 0.001 | 2.4 | 0.20 | 0.02 | 0.001 | 0.43 | 0.015 | 0.05 | 0.058 | 0.21 | 0.0054 | 0.0031 | 0.007 | 110                    | ○        | 2.8                       | 1.75                  | ○        | 本発明 |

註 1) 本発明範囲外れの条件に、下線付き。

註 2) 表面性状は、疵がないものを○、疵が少しでもあるものを×とした。

【0027】【実施例-2】表2に示す成分を含有する溶鋼を連続鋳造して、1100℃でスラブ加熱を行って、表3の板厚に仕上げ、熱延板焼鈍と冷延率を変えて、0.20mmに冷延した。仕上焼鈍を1000℃×1※

※分を水素中で実施して、実施例1と同じ測定条件で計った。

【0028】

【表2】

単位はwt %

| C     | Si  | Mn  | P     | S     | Al   | Sn   | Cu   | Ni   | Cr   | V     | N     | Nb    |
|-------|-----|-----|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 0.002 | 3.2 | 0.7 | 0.002 | 0.001 | 0.85 | 0.04 | 0.11 | 0.03 | 0.04 | 0.003 | 0.012 | 0.003 |

【0029】

【表3】

| 実験<br>No. | 熱延板<br>厚み<br>mm | 熱延板焼鈍<br>条件<br>℃×min | 熱延板焼鈍<br>粒径<br>μm | 冷速<br>℃/S | 冷延率  | 冷延<br>破断 | 表面<br>性状 | W <sub>1000</sub><br>#/kg | B <sub>100</sub><br>T | 総合<br>評価 | 備考   |
|-----------|-----------------|----------------------|-------------------|-----------|------|----------|----------|---------------------------|-----------------------|----------|------|
| ①         | 3.0             | 1150×1               | 180               | 60        | 93.3 | ○        | ○        | 2.28                      | 1.73                  | ○        | 本発明例 |
| ②         | 2.0             | 1150×1               | 180               | 60        | 90.0 | ○        | ○        | 2.27                      | 1.72                  | ○        | 本発明例 |
| ③         | 1.8             | 1150×1               | 180               | 60        | 88.8 | ○        | ○        | 2.29                      | 1.70                  | ○        | 本発明例 |
| ④         | 1.5             | 1150×1               | 180               | 60        | 86.7 | ○        | ○        | 2.46                      | 1.68                  | ×        | 比較例  |
| ⑤         | 1.2             | 1150×1               | 180               | 60        | 83.3 | ○        | ○        | 2.55                      | 1.67                  | ×        | 比較例  |
| ⑥         | 2.5             | 800×2                | 30                | 20        | 92.0 | ○        | ○        | 2.66                      | 1.64                  | ×        | 比較例  |
| ⑦         | 2.5             | 850×2                | 42                | 20        | 92.0 | ○        | ○        | 2.65                      | 1.64                  | ×        | 比較例  |
| ⑧         | 2.5             | 900×2                | 58                | 20        | 92.0 | ○        | ○        | 2.31                      | 1.70                  | ○        | 本発明例 |
| ⑨         | 2.5             | 1000×2               | 81                | 20        | 92.0 | ○        | ○        | 2.28                      | 1.72                  | ○        | 本発明例 |
| ⑩         | 3.5             | 900×2                | 58                | 120       | 94.3 | ×        | ○        | 2.13                      | 1.71                  | ×        | 比較例  |
| ⑪         | 3.5             | 900×2                | 58                | 85        | 94.3 | ×        | ○        | 2.12                      | 1.72                  | ×        | 比較例  |
| ⑫         | 3.5             | 900×2                | 58                | 76        | 94.3 | ○        | ○        | 2.11                      | 1.72                  | ○        | 本発明例 |
| ⑬         | 3.5             | 900×2                | 58                | 60        | 94.3 | ○        | ○        | 2.11                      | 1.72                  | ○        | 本発明例 |

注 1) 冷延破断は 1回でもクラックが入ったら、×とした。  
 注 2) 表面性状は、疵が少しでもあったら、×とした。

【0030】熱延板の厚みを変更して、冷延率の効果を調べた実験No. 1～5で見ると、明らかなように、冷延率が本発明範囲の88%以上で優れた磁気特性が得られ、90%以上の冷延率では特に磁束密度が良好である。次いで、冷延率を92%に固定して、熱延板の結晶粒径の影響を調査した実験No. 6～9の結果では、結晶粒径が本発明の50μm以上で優れた磁性を得ることができる。更に、冷延率を94.3%に固定し、熱延板焼鈍後の結晶粒径も58μmに固定し、熱延板焼鈍の冷速

のみを変更した実験No. 10～13では、80℃/秒超の冷速の場合、冷延の時に鋼板にクラックが入り、破断などの生産トラブルが生じたが、本発明範囲の鋼板は全く問題がなかった。

#### 【0031】

【発明の効果】以上の如く、成分と熱延条件の制御を行うことにより、表面疵のない優れた磁束密度と鉄損を有する無方向性電磁鋼板を、鉄資源のリサイクルを基本としたプロセスで製造することができる。